

Capítulo 4

Transferencia tecnológica como dimensión de impacto social en los resultados de investigación de las Fuerzas Militares*

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818446.04>

Ashlie Tatiana González García
Beitmantt Giovanni Cárdenas Quintero
Aldemar Serrano Cuervo

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

Resumen: Las Fuerzas Militares de Colombia enfrentan desafíos crecientes en un entorno operacional caracterizado por la modernización tecnológica y la digitalización militar. A pesar del notable avance en tecnologías y de la existencia de proyectos dentro de las escuelas de formación, persiste una brecha entre los productos de desarrollo tecnológico generados en los procesos de investigación y su aplicación en el campo operacional. Este capítulo presenta una revisión integral de los modelos y experiencias de transferencia tecnológica implementados por las Fuerzas Militares a nivel global. Posteriormente, se describen casos de éxito en Latinoamérica, destacando lecciones aprendidas y buenas prácticas. Además se realiza una identificación de los factores destacables para emitir una recomendación sobre un posible modelo que se puede implementar en Colombia, el cual se concibe como la vía estratégica para integrar efectivamente los resultados de CTel en el campo operacional, de tal manera que se maximice el impacto social de los resultados de conocimiento generados en seguridad y defensa.

Palabras clave: gestión de la innovación; impacto social; transferencia tecnológica; transformación digital; tecnologías emergentes; tecnología militar.

* Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación "Desafíos contemporáneos en la investigación para la Formación y Doctrina en seguridad y defensa de la Escuela Superior de Guerra: Reingeniería VINVE FASE I", del grupo de investigación Centro de Gravedad, de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", categorizado en A1 por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL2025109461-15, y el grupo de investigación GICOGÉ, categorizado en A1 por Minciencias de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

Ashlie Tatiana González García

Maestranda en Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Especialista en Inteligencia de Negocios, Universidad de Asturias, Colombia. Ingeniería de producción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Gestora de proyectos y asesora de procesos en la Vicedirección de investigación, Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia. <https://orcid.org/0009-0006-2484-8489>
Contacto: ashlie.gonzalez@esdeg.edu.co

Beitmantt Geovanni Cárdenas Quintero

Doctor en Gerencia de Proyectos, Universidad EAN, Colombia. Magíster en Ciencias de la información y las comunicaciones, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Especialista en ingeniería de software, Universidad Antonio Nariño, Colombia. Ingeniero de Sistemas, Universidad de Boyacá, Colombia. Docente de Planta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-0293-0036>
Contacto: bgcardenasq@udistrital.edu.co

Aldemar Serrano Cuervo

Coronel del Ejército Nacional de Colombia. Docente e investigador en Estudios Estratégicos de Seguridad y Defensa. Estancia postdoctoral en Pensamiento Complejo, Multiversidad Mundo Real Edgar Morin, México. Doctor en Logística y Gestión de Cadenas de Suministros, Universidad de La Sabana, Colombia. Magíster en Seguridad y Defensa Nacionales, Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia. Administrador de Empresas, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Profesional en Ciencias Militares, Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova", Colombia. Vicedirector de Investigación, Jefe del Doctorado en Estudios Estratégicos, Seguridad y Defensa y Jefe del Sello Editorial ESDEG. <https://orcid.org/0000-0003-3344-3177>
Contacto: aldemar.serrano@esdeg.edu.co

Citación APA: González-García, A. T., Cárdenas-Quintero, B. G., & Serrano-Cuervo, A. (2026). Transferencia tecnológica como dimensión de impacto social en los resultados de investigación de las Fuerzas Militares. En A. Serrano-Cuervo & D. F. Monroy Anaya (Eds.), *Impacto social y apropiación social del conocimiento en investigación de seguridad y defensa* (pp. 133-171). Sello Editorial ESDEG.
<https://doi.org/10.25062/9786287818446.04>

IMPACTO SOCIAL Y APROPIACIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO EN INVESTIGACIÓN DE SEGURIDAD Y DEFENSA

ISBN impreso: 978-628-7818-43-9

ISBN digital: 978-628-7818-44-6

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818446>

Colección Seguridad y Defensa

Sello Editorial ESDEG

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

Bogotá D.C., Colombia

2026



Introducción

En el panorama geopolítico y de seguridad nacional, las Fuerzas Militares de Colombia enfrentan un entorno operacional cada vez más complejo y cambiante. Este dinamismo es impulsado por la modernización tecnológica y la creciente digitalización de los procesos militares. El avance de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA), los sistemas de información geográfica (GIS), las comunicaciones digitales y la inclusión de avances tecnológicos en las tácticas militares generan tanto nuevas oportunidades como desafíos para las Fuerzas Militares en su misión de garantizar la seguridad y defensa de la soberanía del país (Ministerio de Defensa Nacional, 2021). Sin embargo, la capacidad para integrar y aplicar los resultados de investigación científica y desarrollo tecnológico desarrollados en las escuelas de formación e Instituciones de Educación Superior (IES) de las Fuerzas Militares en las actividades tácticas y operacionales del Ejército Nacional podría considerarse aún insuficiente, lo cual limita la efectividad operacional y la respuesta rápida ante conflictos modernos. Esta situación representa una oportunidad para mejorar significativamente la eficiencia operacional y la seguridad, adaptándose a las amenazas modernas y optimizando la respuesta a situaciones críticas (Restrepo, 2024).

Incluso a pesar de los esfuerzos de modernización institucional, como el Plan de Educación para la Fuerza Pública-PEFuP, la Política de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Sector Defensa y Seguridad Ctel 2024, los Lineamientos del CONPES 3975, CONPES 4069, CONPES 4144 y el Plan Estratégico Ejército para el Futuro (PETEF), que definen las bases sobre las cuales se proyecta la inclusión de los elementos de transformación digital, la IA y la transferencia tecnológica en el Ejército Nacional, lo cierto es que los resultados de investigación al uso práctico en operaciones tácticas sigue siendo una tarea que no ha materializado los esfuerzos

de los diferentes actores involucrados (Ministerio de Defensa Nacional, 2021). Esto evidencia la necesidad de establecer esfuerzos sistemáticos para incrementar el impacto social de los resultados de los proyectos de investigación desarrollados en las escuelas e IES militares mediante sus grupos de investigación (tabla 1).

Tabla 1. Centros y grupos de investigación de las escuelas e IES militares

Institución	Centros y/o grupos de investigación
Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto" (ESDEG)	Centro de Gravedad (A1). Masa Crítica (A1). Memoria Histórica e Interseccionalidad (A). Ciberespacio, Tecnología e Innovación (C). Centros CSDEN, CREES, CIMHM, CEDCO.
Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova" (ESMIC)	Grupo Ciencias Militares (B). Grupo Renfimil (B). Grupo de Ingeniería y Simulación GINSI (C). Centro de Investigación y Desarrollo en Simulación (CIDSI).
Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez" (EMAVI) Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla"	Programas y grupos en ingeniería aeroespacial y tecnologías aplicadas (colaboración con centros de I+D+i de la FAC). Grupo de Investigación en Oceanología (A1). Gestión Logística (A). Poseidón (A). Control, Comunicaciones y Diseño Naval (B).
Escuela de Suboficiales Fuerza Aeroespacial Colombiana (ESUFA)	Relación con proyectos tecnológicos e innovación con el Centro de Desarrollo Tecnológico de la FAC.
Escuela de Postgrados Fuerza Aeroespacial Colombiana (EPFAC)	Vinculación a los cuatro centros de I+D+i de la FAC: CITAE, CITT, CITAE-CDE, CITAE-CIE.
Centro de Educación Militar (CEMIL)	Proyectos propios y alianzas con CODALTEC.
Escuela Naval de Suboficiales ARC Barranquilla	Vinculación con grupos de investigación de la Armada Nacional.
Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC)	Centro de Desarrollo Tecnológico FAC (reconocido por Minciencias) CITAE.
CODALTEC (Corporación de Alta Tecnología para la Defensa)	Centro de Investigación en Alta Tecnología para la Defensa (modelación, simulación y sensores). Grupos KTEG. Grupo GIDS.

Fuente: Elaboración propia a partir de información Scienti Minciencias (2024).

Esta situación se explica por la desconexión que existe entre los desarrollos tecnológicos obtenidos en los centros de investigación, grupos de investigación y proyectos desarrollados por las IES de las Fuerzas Militares, particularmente el Ejército Nacional, y su implementación efectiva en el teatro de operaciones. La incorporación de estos desarrollos permitiría mejorar la capacidad de respuesta y la toma de decisiones en tiempo real, lo cual continúa siendo un reto pendiente de

atender (Montero, 2020). Precisamente, aunque el Plan de Transformación Digital de las Fuerzas Militares plantea la necesidad de acelerar la incorporación de tecnologías avanzadas, la ausencia de un modelo formal y estructurado de transferencia tecnológica que facilite la integración entre los resultados de investigación (Minciencias, 2022) y las actividades operacionales sigue constituyendo un obstáculo clave.

Para lograr este propósito, en este capítulo se presenta un estudio de carácter analítico-descriptivo basado en una revisión de los principales avances en la aplicación de modelos, técnicas y buenas prácticas de transferencia tecnológica en el sector de seguridad y defensa. El estudio se organiza mediante una revisión de la literatura desde una perspectiva global y posteriormente regional. Además, se incorporan relatos aportados por oficiales agregados militares que participan en la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto" (ESDEG). El capítulo concluye con un conjunto de recomendaciones y con la propuesta de un posible modelo de implementación orientado a acelerar el proceso de transferencia tecnológica para el incremento de capacidades en el Ejército Nacional de Colombia.

Esta propuesta se articula con el objetivo de la Política CTel 2024, orientado a promover la innovación tecnológica dentro de las Fuerzas Militares, ya que la ausencia de un andamiaje organizacional o de un modelo eficiente de transferencia tecnológica dificulta la integración efectiva de estas innovaciones en las operaciones diarias. Dicha integración resulta esencial para su aplicación práctica frente a amenazas como el narcotráfico, el terrorismo y los delitos cibernéticos, en un contexto caracterizado por la guerra híbrida y los conflictos multifacéticos.

Con esta premisa, el capítulo busca responder al interrogante sobre qué modelo de transferencia tecnológica de los resultados de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación efectuados por las Fuerzas Militares puede integrarse en las IES y en las escuelas de formación militar, así como en las actividades tácticas y operacionales, con el propósito de mejorar la capacidad de respuesta ante amenazas y optimizar las operaciones en un entorno digital y tecnológicamente avanzado.

Para ello, se realiza una caracterización de los modelos, guías e instructivos asociados a los procesos de transferencia tecnológica y a la integración de los resultados de investigación científica y desarrollo tecnológico en el contexto militar. Este análisis permite evaluar las barreras y limitaciones existentes en la transferencia de tecnología entre los centros de investigación, las IES y el Ejército Nacional de Colombia, con el fin de establecer una línea de base para la formulación de un

modelo organizacional articulado al Plan Estratégico de Transformación Digital del Comando General de las Fuerzas Militares, al PETEF y al Plan Estratégico de las Escuelas.

A partir de lo anterior, se propone un modelo de transferencia tecnológica orientado a integrar los resultados de investigación científica y tecnológica en las actividades tácticas y operacionales de las Fuerzas Militares, con el objetivo de mejorar la capacidad de respuesta ante amenazas en un conflicto moderno e incrementar el impacto social en la dimensión tecnológica de los procesos de investigación desarrollados.

La transferencia tecnológica como factor de impacto social

La transferencia tecnológica en el ámbito militar no solo constituye un proceso de aplicación operativa, sino también un mecanismo que transforma la investigación científica en innovación y en desarrollo tecnológico y socioeconómico. Este proceso se fundamenta en teorías de innovación abierta (Chesbrough, 2003) y en modelos de triple hélice (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000), los cuales articulan al Estado, la academia y la industria para transformar el conocimiento en aplicaciones operativas.

En el contexto colombiano, este enfoque adquiere una relevancia crítica debido a la naturaleza dinámica de las amenazas contemporáneas, entre las cuales se encuentran el narcotráfico transnacional, la minería ilegal y los grupos armados organizados que tienen acceso a tecnologías disruptivas, como drones y ciberataques. Estudios de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2021) evidencian que los ejércitos que cuentan con modelos estructurados de transferencia tecnológica pueden incrementar su capacidad de respuesta ante amenazas emergentes hasta en 40 %, gracias a la adopción de herramientas como la IA y el análisis predictivo.

La materialización de la transferencia tecnológica como vía de desarrollo implica formalizar la trayectoria del conocimiento desde los niveles iniciales de madurez tecnológica (TRL) generados en los grupos de investigación, hasta su despliegue en entornos operativos de alta exigencia o su comercialización en actores que validan su uso potencial. Este proceso se traduce en una doble ventaja estratégica: por un lado, fortalece la capacidad de las Fuerzas Militares para

responder a amenazas asimétricas mediante sistemas de IA o de ciberdefensa de desarrollo propio; por otro lado, dinamiza la Base Tecnológica e Industrial de la Defensa (BTID) nacional.

Al fomentar la fabricación local, la transferencia tecnológica reduce la dependencia de proveedores extranjeros, estimula la creación de empleo altamente calificado y genera conocimiento susceptible de ser transferido al sector civil, lo cual contribuye a consolidar el impacto social del gasto en defensa (Minciencias, 2022) a través de los procesos de investigación.

Sistema de Innovación en las Fuerzas Militares Colombianas

El sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel) de las Fuerzas Militares de Colombia opera bajo una arquitectura institucional orientada a formalizar el ciclo de desarrollo tecnológico. En este esquema, las Escuelas de Formación (ESMIC, EMAVI, ENAV y ESDEG) actúan como los principales centros de generación de conocimiento (I+D fundamental y aplicada), donde los grupos de investigación identifican oportunidades tecnológicas. Posteriormente, entidades adscritas al sector defensa, como la Corporación de Alta Tecnología para la Defensa (CODALTEC), asumen el papel de desarrollo tecnológico y prototipado, con el propósito de elevar el Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) de los productos. Este modelo teórico, alineado con la Política CTel 2024, busca canalizar estas innovaciones hacia las unidades operativas del Ejército Nacional, la Armada Nacional y la Fuerza Aeroespacial.

Sin embargo, la efectividad de este sistema se ve constantemente desafiada por la desconexión entre la oferta de innovación —generada principalmente en las Escuelas— y la demanda operacional de las unidades de combate, logística, estrategia y telecomunicaciones. La principal brecha se produce en el tránsito de los proyectos desde un TRL 4 (prototipo de laboratorio o probado en ambiente controlado) hacia un TRL 7 (demostración en entorno operativo). En muchos casos, los proyectos no logran avanzar entre estos niveles debido a la falta de inversión, a la ausencia de validación en campo o a la inexistencia de un marco contractual de transferencia tecnológica. Como consecuencia, numerosos prototipos valiosos permanecen confinados en los laboratorios académicos, sin llegar a generar capacidades operativas reales ni a fortalecer la autonomía estratégica de la defensa nacional.

Desde el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Defensa a 2026 (Ministerio de Defensa Nacional, 2021) se subraya la necesidad

de la “domesticación tecnológica” como estrategia para reducir la dependencia de importaciones, un desafío que actualmente enfrentan las Fuerzas Militares de Colombia. De acuerdo con cifras de la entidad, el 72 % de las tecnologías utilizadas en operaciones tácticas son adquiridas a proveedores extranjeros, lo cual limita la adaptación a contextos locales y aumenta significativamente los costos logísticos (CODALTEC, 2023). Esta necesidad no se limita al componente económico, sino que también incorpora una dimensión estratégica, ya que la dependencia tecnológica compromete la autonomía operacional y la capacidad de generar soluciones pertinentes a las amenazas específicas del contexto nacional.

En este sentido, la brecha entre la generación de conocimiento científico y su aplicación efectiva se manifiesta en diversas limitaciones críticas, identificadas por el Centro de Estudios Estratégicos del Ejército (2022):

- *Fragmentación institucional*: solo el 15 % de los proyectos de I+D+i del Ejército Nacional se alinean con necesidades operativas inmediatas, debido a la falta de protocolos para priorizar investigaciones aplicables.
- *Resistencia cultural*: el 54 % del personal militar carece de formación en alfabetización digital, lo cual dificulta la adopción de nuevas tecnologías (Ministerio de Defensa Nacional, 2023).
- *Falta de infraestructura*: el 68 % de las unidades no cuentan con sistemas interoperables para integrar datos satelitales en tiempo real (Fuerza Aeroespacial Colombiana, 2023).

Análisis y vínculo estratégico

Estas limitaciones representan obstáculos directos para la materialización del impacto social de los procesos de investigación de las Fuerzas Militares. En este sentido, la transferencia tecnológica se concibe, por lo tanto, como la vía estratégica para superarlos, permitiendo que la investigación se conecte directamente con la solución de problemas asociados a la seguridad y la defensa. El éxito de las operaciones militares, que puede incluir la neutralización eficaz de amenazas, la reducción de riesgos, la asistencia a la población civil, la construcción de la paz y la dignificación de la memoria militar, constituye una manifestación directa de la dimensión tecnológica del impacto, de manera que este éxito depende de la capacidad de las Fuerzas Militares para integrar y utilizar tecnologías propias.

Superar la fragmentación institucional es fundamental para asegurar que los productos generados por las escuelas de formación —como la Escuela Militar de Cadetes (ESMIC), la Escuela Naval (ENAV), la Escuela Militar de Aviación (EMAVI) y la Escuela Superior de Guerra (ESDEG)— se transformen en capacidades reales

en el teatro de operaciones. De igual manera, abordar la resistencia cultural implica fomentar la apropiación social del conocimiento (ASC), entendida como la construcción de una cultura profesional en la cual la tecnología y la innovación se integren como elementos inherentes a la doctrina militar y como habilitadores de la superioridad táctica.

Solo mediante un modelo estructurado de transferencia tecnológica que aborde estos desafíos internos se podrá garantizar que la ciencia y la tecnología colombianas contribuyan activamente a la seguridad nacional y al bienestar social, lo cual enlaza directamente con los casos de éxito internacionales que se detallan en el siguiente apartado.

Transferencia y casos de éxito a nivel global y regional

Superar las barreras institucionales en Colombia requiere el análisis de referentes internacionales y regionales. La implementación exitosa de un modelo de transferencia tecnológica se sustenta en los siguientes casos de éxito que evidencian la viabilidad y los beneficios de este proceso:

- *Ejército de Chile*: mediante el programa Innovación para la Defensa (2021), redujo en 35 % el tiempo de respuesta ante emergencias integrando simuladores tácticos que fueron desarrollados con la Academia de Guerra. Este modelo priorizó la co-creación de soluciones entre ingenieros militares y universidades (Espitia et al., 2021).
- *CODALTEC (Colombia)*: Desarrolló el primer radar 100 % colombiano en colaboración con la Universidad Nacional de Colombia. Este proyecto demostró que la transferencia tecnológica local es viable cuando se articulan recursos humanos especializados y financiamiento estatal (CODALTEC, 2023).
- *Israel (Programa MAFAT)*: mediante acuerdos de offset tecnológico, el 78 % de las *startups* de ciberseguridad militar israelíes surgen de colaboraciones universidad-Ministerio de Defensa, lo cual permitió consolidar un ecosistema que atrae USD 3.2 mil millones anuales en inversión por parte de la empresa privada nacional e inversión internacional (Startup Nation Central, 2023).
- *Corea del Sur (Agencia para el Desarrollo de la Defensa - ADD)*: desarrolló el sistema de mando KICC (Korean Integrated Command Center) mediante consorcios con doce universidades, gracias a lo cual redujo 60 % los tiempos de procesamiento de datos que se utilizan para actividades de vigilancia e inteligencia.

Transferencia tecnológica como catalizador del impacto social

El desarrollo de tecnología militar trasciende el ámbito de la defensa para generar un impacto social positivo y sostenible. En este sentido, la transferencia tecnológica militar actúa como un motor de desarrollo, al permitir adaptar invenciones de uso dual que articulen los ámbitos civil y militar en beneficio de la sociedad. La adaptación contextual resulta fundamental en estos procesos, como señala Tamayo Herrera (2014), quien indica que los modelos de transferencia en defensa suelen ignorarla, centrándose en replicar tecnologías extranjeras sin ajustarlas a geografías complejas. Esta observación converge con la advertencia de González Sabater (2009), quien señala que la falta de capacitación en I+D+i limita la sostenibilidad de los proyectos tecnológicos. En consecuencia, el modelo que se propone en este capítulo debe atender estas necesidades mediante programas de formación especializada y mecanismos orientados al fortalecimiento del impacto social.

Un ejemplo regional de este tipo de éxito es el modelo de gestión ecuatoriano, que demostró cómo la articulación entre la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) y el sector industrial permitió incrementar la autosuficiencia tecnológica en 25 %. Este avance se materializó en la fabricación local de sistemas de vigilancia fronteriza basados en sensores IoT, lo cual proyecta ahorros de hasta USD 12 millones anuales en importaciones (CODALTEC, 2023).

Incorporar estos elementos dentro de un modelo de transferencia tecnológica podría optimizar el proceso de toma de decisiones, ya que la integración de algoritmos predictivos en tiempo real permitiría reducir hasta en 50 % el tiempo de respuesta ante amenazas (Ministerio de Defensa Nacional, 2021). Además, este enfoque fortalecería la soberanía tecnológica, al permitir que las Fuerzas Militares desarrollen patentes, modelos de utilidad y otros productos tecnológicos propios en áreas como ciberseguridad, ciberdefensa, automatización de procesos, drones tácticos y analítica de datos. De esta manera, Colombia podría posicionarse como referente regional en el ámbito de la innovación tecnológica para la defensa.

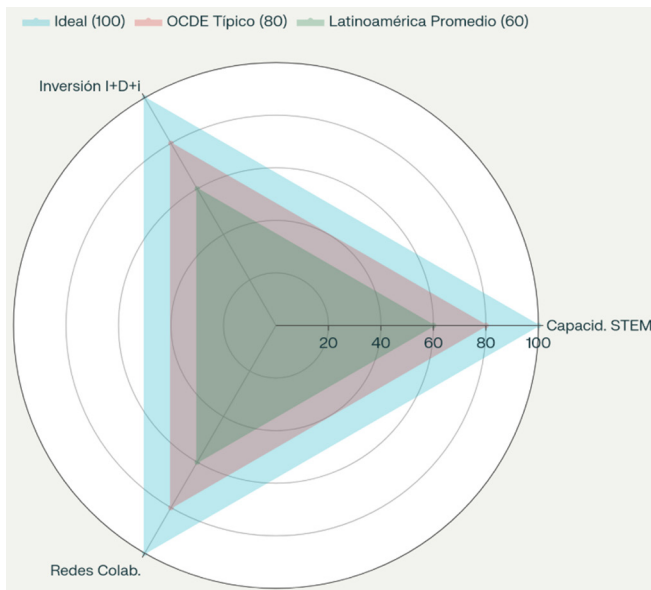
Base de un modelo de transferencia propuesto

La transferencia tecnológica se sustenta en un conjunto de referentes conceptuales que incluyen las teorías de sistemas complejos adaptativos, la noción de capital tecnológico endógeno (Arocena & Sutz, 2020) y los ecosistemas de innovación militar (Dombrowski & Gropman, 2022). Estos enfoques señalan que las

organizaciones de defensa deben evolucionar mediante sinergias entre la investigación aplicada y las necesidades operativas, superando el paradigma lineal tradicional de I+D.

Específicamente, el modelo que se propone en este capítulo adopta el concepto de innovación dual (Schmidt, 2020), el cual articula tecnologías civiles y militares bajo principios de escalabilidad y adaptabilidad contextual. Asimismo, la teoría de la capacidad de absorción (Cohen & Levinthal, 1990) permite explicar las barreras identificadas en el sistema actual, ya que la capacidad de una organización para internalizar conocimiento externo depende de su capacidad de absorción. (figura 1)

Figura 1. Comparativo de las capacidades en innovación de acuerdo con las dimensiones.



Fuente: Elaboración propia.

Particularmente, el Ejército Nacional de Colombia se ubica en el Nivel 2 (Adaptación incremental) del Modelo de Madurez de Capacidades Tecnológicas (MMCT) propuesto por el Centro de Estudios Estratégicos de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (NATO, 2023), lo cual evidencia un nivel aún limitado de consolidación en el desarrollo de capacidades tecnológicas propias según el Índice de Autonomía Tecnológica en Defensa.

Otro factor relevante es que el gasto en I+D+i del sector defensa en Colombia alcanza apenas el 0,3 % del presupuesto militar (Ministerio de Defensa Nacional, 2021). En contraste, el Real Instituto Elcano (2023) demuestra que los ejércitos latinoamericanos que adoptan modelos de transferencia tecnológica basados en la cuádruple hélice —que incorporan a la sociedad civil además de la articulación entre Estado, academia e industria— logran mejoras significativas en sus capacidades tecnológicas. En un lapso promedio de 18 meses, estos modelos han evidenciado los siguientes resultados:

- Reducción del 32 % en los costos de mantenimiento de sistemas.
- Reducción del 41 % en el tiempo de implementación de nuevas tecnologías.

Estos resultados se asocian con el Modelo de Innovación en Defensa 4.0, el cual prioriza la interoperabilidad cognitiva, el prototipado ágil y la gobernanza de datos. Tales hallazgos coinciden con la teoría de la dependencia de camino (North, 1990), lo que sugiere que el modelo propuesto debe integrar tres componentes (tabla 2).

Tabla 2. *Características de los componentes que se deben integrar en el modelo de transferencia*

Componente	Características principales
Laboratorios de Guerra Experimental (LabGEx)	<ul style="list-style-type: none"> • Espacios de experimentación, simulación y validación de tecnologías militares. • Integración de prototipado rápido, ensayo de doctrinas, análisis de interoperabilidad y validación en entorno controlado. • Interacción entre investigadores, operadores y desarrolladores para acelerar la adopción tecnológica.
Sistema de Inteligencia Tecnológica (SITEC)	<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma para vigilancia, monitoreo y prospectiva tecnológica • Analiza tendencias, identifica oportunidades de innovación y riesgos emergentes. • Toma de decisiones para orientar inversiones y adopción de nuevas capacidades tecnológicas.
Esquemas de financiamiento híbrido	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla de fondos públicos, privados y colaborativos (universidad-industria-Estado). • Fomento de inversión compartida en investigación, desarrollo y prototipado. • Acceso ágil a capital de riesgo y apoyos estatales para innovación dual.

Fuente. Elaboración propia.

Con base en el Modelo de Retorno de Inversión en Innovación Militar (RIIM) (RAND Corporation, 2022), se proyecta una mejora significativa en las capacidades operacionales mediante la implementación de estas soluciones.

Actores y mecanismos de transferencia tecnológica en el sector Defensa

La transferencia tecnológica en el sector de defensa se consolida como un proceso complejo y estratégico que va más allá de la simple entrega de un producto o invención. Implica el intercambio de conocimiento tácito, habilidades, experiencia y saber-hacer en el campo militar y el explícito en documentos, patentes, manuales y guías doctrinales.

Figura 2. *Ciclo de transferencia del conocimiento.*



Fuente: Elaboración propia.

El ciclo de transferencia de conocimiento que se presenta en la figura 2 constituye un proceso fundamental en los ámbitos académico, científico y organizacional, ya que permite que el saber generado por individuos o comunidades circule y se institucionalice en nuevos contextos, favoreciendo la innovación, el desarrollo y la competitividad. El proceso comienza con la identificación del conocimiento relevante, que implica reconocer información, experiencias y habilidades valiosas susceptibles de ser formalizadas y aprovechadas en distintos contextos. En el ámbito de las Fuerzas Militares, este conocimiento se relaciona principalmente con las necesidades y prácticas operacionales. En la siguiente etapa, la validación asegura que dicho conocimiento cumpla con estándares de calidad, parámetros

doctrinales y criterios de pertinencia, lo cual resulta esencial para su aplicación práctica y su transferencia efectiva.

Posteriormente, la documentación consiste en la sistematización y el registro formal del conocimiento, garantizando su trazabilidad y disponibilidad futura. Finalmente, la publicación permite difundirlo de manera abierta o restringida entre comunidades científicas, educativas o empresariales. Esta práctica constituye la base tradicional sobre la cual se han configurado los procesos de generación, reconocimiento y categorización del conocimiento científico, según los lineamientos del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Ahora bien, en un escenario orientado al impacto social de la investigación, una vez compartido, el conocimiento se transfiere entre distintos agentes mediante diversos mecanismos, tales como capacitaciones, publicaciones, reuniones, alianzas interorganizacionales, rotación de personal, mecanismos de participación ciudadana o trabajo en territorio. Este proceso de transferencia se es influido por factores culturales, institucionales y contextuales (Bhagat et al., 2002), y requiere que los participantes establezcan vínculos, mantengan conexiones y compartan códigos y motivaciones comunes (Argote, 1999).

Cuando este conocimiento se lleva al ámbito de la aplicación, se requiere su adopción y adaptación a nuevas circunstancias, lo que, en palabras de Argote (1999), implica un aprendizaje organizacional continuo basado en la experiencia colectiva. Finalmente, la etapa de captura garantiza que los resultados derivados de la implementación del conocimiento sean nuevamente documentados y evaluados, con el fin de retroalimentar el ciclo y promover el aprendizaje organizacional dentro de un entorno de mejora continua, reflexión y crítica constructiva sobre la base de conocimiento existente.

El ciclo descrito guarda estrecha relación con la gestión del conocimiento y los procesos de innovación. En este sentido, Ezponda (2008) argumenta que las verdaderas innovaciones epistémicas surgen de redes de conocimiento, en las cuales las transferencias contribuyen a la creación de nodos dinámicos que conectan distintos campos científicos y sociales, formando comunidades de práctica y facilitando la integración transdisciplinaria.

En el ámbito institucional, la transferencia de conocimiento se ha entendido como un proceso estratégico que implica identificar oportunidades, asignar recursos, establecer prioridades y fortalecer áreas de vacancia (Zanitti, 2018). Así, se reconoce la importancia de la transferencia para mejorar la competitividad y la eficiencia organizacional, tanto en instituciones educativas como la ESDEG, como en organizaciones empresariales del Grupo Social y Empresarial de la Defensa (GSED).

En este sentido, la transferencia de conocimiento no se limita al marco formal de la comunicación, sino que constituye un proceso dinámico y complejo que involucra no solo la transmisión intencionada de saber, sino también la interacción, la adaptación y la institucionalización del conocimiento, lo cual refuerza la capacidad innovadora de los sistemas sociales y productivos (Blackler, 1995). Este carácter iterativo y multidimensional (figura 1) permite analizar y optimizar los procesos institucionales, gracias a lo cual facilita el diagnóstico, la evaluación y la mejora de las prácticas investigativas y de los proyectos con componentes de desarrollo tecnológico.

Mecanismos de transferencia tecnológica en el sector defensa

La transferencia de tecnología puede materializarse mediante diversos mecanismos, cada uno con un propósito específico y un impacto potencial. La elección del mecanismo depende del nivel de madurez de la tecnología, así como de las necesidades estratégicas y operacionales de la Fuerza y de las prioridades institucionales de mando (Sira, 2015). Entre los principales mecanismos se encuentran los siguientes:

- *Proyectos de investigación conjunta*: este es uno de los mecanismos más efectivos de transferencia tecnológica, ya que permite que investigadores de las escuelas de formación militar trabajen directamente con personal operativo para co-crear soluciones tecnológicas. Este enfoque asegura que la tecnología no solo sea innovadora, sino también relevante, aplicable y adaptada a las necesidades reales del entorno operativo.
- *Licenciamiento y patentes*: las patentes y los derechos de propiedad intelectual generados en los proyectos de investigación pueden licenciarse a empresas del sector defensa o a compañías civiles. Este mecanismo protege la soberanía tecnológica del país y genera ingresos que pueden reinvertirse en futuros proyectos de I+D+i, creando un ciclo virtuoso de innovación. Además, el licenciamiento facilita la adopción y escalabilidad de las innovaciones a nivel industrial, impulsando el desarrollo del sector defensa (OECD, 2017).
- *Programas de movilidad y capacitación*: la transferencia de conocimiento no se limita a la tecnología, sino que también involucra habilidades y experiencia. En este sentido, los programas de capacitación especializada en tecnologías emergentes —como IA, ciberseguridad, guerra híbrida y analítica militar— dirigidos al personal militar resultan fundamentales. Estos programas fortalecen la capacidad de absorción organizacional (Cohen &

Levinthal, 1990) y contribuyen a reducir la resistencia cultural frente a los cambios tecnológicos.

La exploración realizada hasta el momento permite inferir que uno de los aspectos más relevantes de la transferencia tecnológica en el sector defensa es su capacidad para generar un impacto social significativo, el cual se refleja en la influencia de los resultados de investigación sobre los modos de vida de la población, trascendiendo el ámbito estrictamente militar. Esta característica se relaciona con el concepto de innovación de uso dual, mediante el cual una tecnología desarrollada para fines militares puede adaptarse para aplicaciones civiles, maximizando el retorno de la inversión pública y fortaleciendo el vínculo entre las Fuerzas Militares y la sociedad.

Entre los ejemplos más representativos de esta práctica se encuentran los sistemas de georreferenciación y los sensores desarrollados por la Fuerza Aeroespacial Colombiana para la vigilancia aérea, los cuales pueden transferirse a agencias gubernamentales encargadas del monitoreo de la deforestación ilegal en la Amazonía o de la prevención de incendios forestales. Asimismo, los drones de reconocimiento utilizados por el Ejército Nacional pueden adaptarse para la agricultura de precisión o para la gestión de emergencias civiles, como el mapeo de zonas afectadas por inundaciones o deslizamientos de tierra (García R., 2021).

De igual manera, los avances en logística y transporte militar pueden aplicarse en la optimización de la entrega de ayuda humanitaria y médica en zonas rurales y de difícil acceso, configurando así un enfoque de uso dual que convierte la inversión en defensa en un motor de desarrollo y progreso social, al tiempo que consolida el papel de las Fuerzas Militares como actores relevantes en el bienestar de la sociedad.

Este proceso requiere la participación de múltiples actores y la implementación de mecanismos tanto formales como informales que faciliten la articulación y la sinergia entre las instituciones generadoras de conocimiento y las unidades operativas.

Actores en el ecosistema de innovación militar colombiano

El ecosistema de innovación del sector defensa en Colombia no se limita a las unidades tácticas, sino que constituye una red compleja de actores que involucra instituciones internas y externas a las Fuerzas Militares. En este contexto, las escuelas de formación —como la ESMIC, la ENAV, la EMAVI y la ESDEG— funcionan como centros fundamentales de generación de conocimiento científico y tecnológico.

En estas instituciones, los grupos de investigación reconocidos por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias) actúan como los

principales impulsores de los proyectos de I+D+i, los cuales suelen desarrollarse en un entorno académico y formativo orientado a la producción de conocimiento aplicado (Montero, 2020). Además de las escuelas de formación, el ecosistema de innovación del sector defensa incluye otros actores fundamentales, entre los cuales se encuentran:

- *CODALTEC*: actúa como el puente principal entre la investigación académica y la producción industrial, facilitando la fabricación local de tecnologías. Su papel es vital para la soberanía tecnológica, ya que convierte los prototipos de laboratorio en sistemas militares funcionales, lo cual reduce la dependencia de proveedores extranjeros y genera conocimiento local.
- *Las Fuerzas Militares (Ejército Nacional, Armada y Fuerza Aeroespacial)*: son los usuarios finales y los validadores de las tecnologías. Sus necesidades operacionales y tácticas, a menudo identificadas en el campo de batalla o durante misiones específicas, son la base sobre la cual se priorizan los proyectos de investigación. El personal militar aporta el conocimiento tácito y la experiencia de campo, que son esenciales para el desarrollo de soluciones verdaderamente efectivas y aplicables.
- *La academia civil*: universidades como la Universidad Nacional de Colombia, la Escuela de Administración de Negocios y la Universidad Militar Nueva Granada son socios estratégicos que aportan conocimiento especializado, laboratorios de alta tecnología y metodologías de investigación avanzada. Esta colaboración enriquece el ecosistema y facilita el desarrollo de tecnologías de uso dual que benefician tanto al sector de defensa como a la sociedad civil.

Esta red de colaboración, que incluye al Estado, la academia, la industria y la sociedad civil, se inspira en el modelo de la cuádruple hélice (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000), una estructura crucial para la viabilidad de la transferencia tecnológica en un contexto de recursos limitados.

La dimensión tecnológica a través del uso dual

La exploración realizada hasta el momento permite inferir que uno de los aspectos más relevantes de la transferencia tecnológica en el sector defensa es su capacidad para generar un impacto social significativo, reflejado en la influencia de los resultados de investigación sobre los modos de vida de la población, de manera que trascienda el ámbito estrictamente militar. Este fenómeno se asocia con el concepto de innovación de uso dual, mediante el cual tecnologías desarrolladas

para fines militares pueden adaptarse para aplicaciones civiles, maximizando el retorno de la inversión pública y fortaleciendo el vínculo entre las Fuerzas Militares y la sociedad (tabla 3).

Tabla 3. *Campos de tecnología de uso dual*

Campo tecnológico	Aplicaciones civiles	Aplicaciones militares
Inteligencia artificial (IA)	Diagnóstico médico avanzado, vehículos autónomos para transporte y logística, asistentes virtuales personalizados, análisis financiero automatizado, educación inteligente, optimización energética y procesos industriales inteligentes.	Sistemas de armas autónomas, inteligencia artificial para el reconocimiento automatizado de imágenes e inteligencia, ciberdefensa avanzada, apoyo a la toma de decisiones tácticas y estratégicas, control logístico en tiempo real, comando y control integrados.
Sistemas no tripulados (Drones/ robótica)	Agricultura de precisión (fumigación, monitoreo de cultivos), inspección de infraestructuras críticas, entrega de paquetes automatizada, monitoreo ambiental, búsqueda y rescate en catástrofes, cine y periodismo aéreo, vigilancia urbana y rural.	Drones para ISR (inteligencia, vigilancia y reconocimiento), enjambres coordinados, ataques de precisión, desminado automatizado, logística de abastecimiento en campo de batalla, vehículos terrestres y acuáticos no tripulados, patrullaje y protección de fronteras.
Tecnología espacial	Navegación y posicionamiento global (GPS, Galileo, GLONASS), comunicaciones satelitales, pronóstico meteorológico avanzado, monitoreo de desastres naturales, estudios climáticos, observación remota para agricultura y recursos, turismo espacial emergente.	Alerta temprana de misiles balísticos, comunicaciones militares seguras vía satélite, sistemas anti-satélites, guiado preciso de misiles, navegación y seguimiento de fuerzas, inteligencia geoespacial, mapeo operacional y control de satélites militares.
Biotecnología	Edición genética (CRISPR/Cas9) para tratamiento de enfermedades, creación de nuevos fármacos, bio-impresión de órganos, biocombustibles, aumento de productividad agrícola y ganadera, bio-rehabilitación de suelos.	Desarrollo de armas biológicas y antídotos, manipulación genética de organismos para aumentar la resistencia física/cognitiva de soldados, sensores biológicos para detección de agentes NBQ, preparación para amenazas epidemiológicas, mejora de raciones militares.
Tecnología cuántica	Computación cuántica para simulación molecular, criptografía avanzada, sensores ultra precisos, mejora de algoritmos de inteligencia artificial, aceleración del desarrollo de nuevos materiales, investigación farmacéutica de alta complejidad.	Criptoanálisis cuántico (rompimiento de cifrados convencionales), canales de comunicación cuántica ultraseguros, radares cuánticos para detección <i>stealth</i> , sensores cuánticos submarinos y aéreos, sistemas de contramedidas electrónicas cuánticas.

Campo tecnológico	Aplicaciones civiles	Aplicaciones militares
Semiconductores	Núcleo de toda la electrónica moderna: fabricación de smartphones, computadoras, equipos médicos de diagnóstico por imagen, redes de telecomunicaciones 5G, energías renovables (inversores inteligentes) y automatización residencial e industrial.	Microchips para misiles y sistemas guiados, electrónica de radares y sistemas de guerra electrónica, módulos de comunicación militar resistente a interferencias, integración en plataformas autónomas, miniaturización de sensores de vigilancia y reconocimiento.

Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, la transferencia tecnológica en el sector defensa se caracteriza por su naturaleza bidireccional, en la cual tecnologías, software y conocimientos técnicos desarrollados inicialmente con fines militares pueden adoptarse para aplicaciones civiles, y viceversa. Este enfoque trasciende la simple adaptación tecnológica y se consolida como una estrategia orientada a fortalecer la Base Tecnológica e Industrial de la Defensa (BTID).

Históricamente, la innovación tecnológica en defensa se desarrolló bajo el modelo *spin-off*, en el cual la I+D financiada por el sector militar generaba tecnologías que posteriormente se transferían al mercado civil. Sin embargo, la dinámica global ha transformado este proceso hacia el modelo *spin-on*, en el cual el sector civil y comercial —especialmente en áreas como IA, big data, biotecnología y sensores avanzados— lidera actualmente los procesos de innovación tecnológica.

Desde esta perspectiva, las Fuerzas Militares actúan como clientes inteligentes que adoptan e integran rápidamente estas tecnologías comerciales de alta velocidad y bajo costo en sus sistemas de defensa. Este enfoque estratégico permite a las Fuerzas Militares colombianas no solo acceder a tecnología de punta más rápido, sino también asegurar que los productos se diseñen con estándares de escalabilidad y adaptabilidad que benefician a ambos sectores.

La promoción del uso dual genera un impacto social medible a través de dos dimensiones:

1. *Soberanía tecnológica y reducción de costos*: la adopción de estrategias de uso dual permite a las Fuerzas Militares impulsar la fabricación y el mantenimiento local de tecnologías estratégicas, gracias a lo cual fortalece la soberanía tecnológica y reduce costos operacionales. Entre las soluciones con mayor potencial se encuentra la tecnología de gemelos digitales, utilizada por empresas globales como Siemens para optimizar astilleros navales militares. Esta tecnología puede transferirse posteriormente al ámbito civil para la planificación urbana o la gestión de infraestructuras

críticas, de tal manera que genere un efecto de *spillover* tecnológico que contribuye al crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) nacional.

2. *Soluciones sociales tangibles*: la transferencia directa de tecnologías de defensa a aplicaciones civiles constituye una de las manifestaciones más visibles del impacto social de la investigación en el sector defensa. Por ejemplo, los sistemas de georreferenciación y los sensores desarrollados para la vigilancia aérea pueden transferirse a agencias gubernamentales encargadas de monitorear la deforestación ilegal en la Amazonía o prevenir incendios forestales. De igual manera, los drones de reconocimiento utilizados por el Ejército Nacional pueden adaptarse para la agricultura de precisión o para la gestión de emergencias civiles, como el mapeo de zonas afectadas por inundaciones o deslizamientos de tierra (García, 2022).

De igual forma, los avances en logística y transporte militar pueden aplicarse en la optimización de la entrega de ayuda humanitaria y médica en zonas rurales y de difícil acceso, lo cual constituye un ejemplo claro de uso dual de tecnologías de defensa. Este enfoque permite convertir la inversión en defensa en un motor de desarrollo social, al tiempo que consolida el papel de las Fuerzas Militares como actores relevantes en el bienestar de la sociedad.

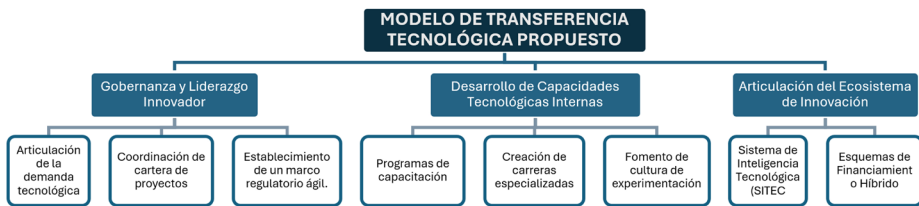
No obstante, la complejidad inherente al uso dual de las tecnologías exige la existencia de un marco regulatorio riguroso que garantice la trazabilidad de los desarrollos tecnológicos y prevenga su proliferación o uso indebido. En particular, tecnologías sensibles como las herramientas de cibervigilancia o los desarrollos biotecnológicos requieren mecanismos de control que aseguren que su implementación se alinee con el respeto a los Derechos Humanos y con los principios de seguridad internacional.

Modelo de transformación digital y transferencia tecnológica

La transformación digital en las Fuerzas Militares de Colombia constituye una prioridad estratégica orientada a responder a los complejos desafíos contemporáneos de seguridad y defensa. Este proceso involucra al Ejército Nacional de Colombia, la Fuerza Aeroespacial Colombiana, la Armada Nacional y el Comando General de las Fuerzas Militares, y busca simultáneamente generar impacto social positivo, progreso, cohesión territorial y bienestar general.

Específicamente, este proceso integral se fundamenta en los lineamientos de diversos instrumentos institucionales, entre ellos el Plan Estratégico de Transformación y Evolución de la Fuerza (PETEF), los planes estratégicos de la FAC y las estrategias de modernización de la Armada Nacional. Dichos instrumentos se articulan con políticas nacionales definidas en documentos como los CONPES 4069 y 4144, así como con la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel) del Ministerio de Defensa. Con el propósito de cerrar la brecha entre la investigación y las operaciones, el modelo propuesto se fundamenta en tres pilares estratégicos interconectados, como se presenta en la figura 3.

Figura 3. Componentes del modelo de transferencia propuesto



Fuente: Elaboración propia.

Gobernanza y liderazgo innovador

La adopción de tecnologías emergentes exige un liderazgo institucional claro y una gobernanza sólida. En este sentido, el modelo propone la creación de una Oficina de Innovación y Transferencia Tecnológica (OITT) dentro del Comando del Ejército, cuya misión sería definir las prioridades de I+D+i en función de las necesidades operacionales.

La OITT sería responsable de formalizar los protocolos de articulación con los centros de investigación, la academia y la industria, garantizando que los proyectos de investigación se orienten a la solución de problemas operacionales reales. Esta estructura se inspira en modelos de innovación implementados por la OTAN y otros ejércitos, los cuales han demostrado que el liderazgo institucional constituye uno de los principales impulsores de los procesos de innovación (NATO, 2023). En particular, se destacan estas tareas:

- *Articular la demanda tecnológica:* funcionar como un canal único para que las unidades operativas y las escuelas de formación expresen sus necesidades de manera estructurada y priorizada.

- *Coordinar la cartera de proyectos:* gestionar el ciclo de vida de los proyectos de I+D+i, desde la conceptualización hasta la transferencia y el despliegue en campo.
- *Establecer un marco regulatorio ágil:* acelerar los procesos de adquisición y contratación de tecnologías emergentes, eliminando las barreras burocráticas que suelen ralentizar la innovación.

Desarrollo de capacidades tecnológicas internas

Para maximizar la transferencia de tecnología, el Ejército Nacional debe desarrollar una capacidad de absorción robusta, tal como lo postula la teoría de Cohen y Levinthal (1990). A su vez, esto implica un compromiso con la formación continua del personal en áreas STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), lo cual fortalece la alfabetización digital y reduce la resistencia cultural a los cambios. El modelo propone:

- *Programas de capacitación especializada:* implementar currículos específicos en áreas de alta demanda como ciberseguridad, análisis de big data, IA y robótica para oficiales y suboficiales. Estos programas podrían realizarse en colaboración con universidades civiles, generando certificaciones y especializaciones de alto valor.
- *Creación de carreras especializadas:* establecer un plan de carrera para el personal con talento tecnológico, permitiéndoles ascender y especializarse en áreas de I+D+i. Esto incentivaría la retención del conocimiento y evitaría la fuga de cerebros.
- *Fomento de una cultura de experimentación:* incentivar a los miembros del Ejército Nacional a proponer soluciones innovadoras y a experimentar con nuevas tecnologías en entornos controlados, promoviendo una mentalidad de aprendizaje continuo y adaptación.

Articulación del Ecosistema de Innovación

El modelo formaliza la cuádruple hélice de la que se habló en apartados anteriores, creando mecanismos para la colaboración sistemática entre el Ejército Nacional, la academia, la industria y la sociedad civil. Esto incluye la institucionalización de los Laboratorios de Guerra Experimental (LabGEx) propuestos previamente, donde se co-crean y validan prototipos en entornos de simulación real. Estos laboratorios servirían como puntos de encuentro para que los investigadores de la ESMIC y la ESDEG trabajen mano a mano con los soldados de las unidades operativas. Además, el modelo promueve:

- *Sistema de Inteligencia Tecnológica (SITEC)*: una plataforma impulsada por IA que cruza datos de patentes, publicaciones científicas, informes de inteligencia y necesidades operativas para priorizar automáticamente los proyectos de I+D. Este sistema aseguraría que los recursos se inviertan en las tecnologías más relevantes y de mayor impacto.
- *Esquemas de Financiamiento Híbrido*: un modelo que combina el presupuesto castrense con fondos de regalías (SGR), capital de riesgo especializado en tecnología de defensa (*defensatech*) y acuerdos de compensación (*offsets*) que resulten de las compras militares. Esto diversificará las fuentes de financiamiento y acelerará el desarrollo de proyectos (Ministerio de Defensa Nacional, 2021).

Transformación digital e impacto social

La transformación digital, en su concepción más amplia, constituye un cambio organizacional y cultural habilitado por la integración de tecnologías digitales en todas las áreas de una institución, lo cual produce una modificación fundamental en la forma en que esta opera y genera valor (Schmidt, 2020).

En el contexto militar, este proceso trasciende la simple modernización de los equipos, al enfocarse en convertir los datos en un activo estratégico para la toma de decisiones (García, 2022). Esto implica el despliegue de tecnologías asociadas a la Cuarta Revolución Industrial (4RI) e incluso a dinámicas emergentes vinculadas a la Quinta Revolución Industrial (5RI), entre ellas la IA, la computación en la nube (*cloud computing*) y la analítica avanzada, orientadas a optimizar la toma de decisiones, la logística y la superioridad táctica mediante organizaciones orientadas por datos (*data-driven*).

La transformación digital se encuentra intrínsecamente vinculada al impacto social, ya que no solo trasciende la dimensión tecnológica, sino que también incorpora dimensiones cognitivas y sociales. Al optimizar la eficiencia y la efectividad de las misiones de seguridad y defensa, las Fuerzas Militares pueden reducir los riesgos para la población, fortalecer la protección territorial y liberar recursos que contribuyan al desarrollo nacional.

La implementación de este modelo estratégico permite a las Fuerzas Militares modernizar sus capacidades operacionales y fortalecer su papel como actor de impacto social positivo. En este contexto, la transformación digital facilita la aplicación de tecnologías militares en beneficio de la sociedad civil, reforzando el concepto de innovación de uso dual, tal como se presenta en la tabla 3. Entre estas

aplicaciones se encuentran los sistemas de comando y control digital, que pueden adaptarse para coordinar la respuesta humanitaria en zonas remotas afectadas por desastres naturales.

Asimismo, los avances en comunicaciones tácticas y en sistemas de inteligencia de datos pueden contribuir al fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana, mientras que la experiencia acumulada en ciberseguridad militar puede aplicarse a la protección de la infraestructura crítica nacional frente a ataques cibernéticos.

En síntesis, al optimizar los procesos de transferencia tecnológica, la dimensión tecnológica se convierte en un catalizador de progreso social, al mejorar la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de los ciudadanos en todo el territorio nacional.

Avances en la transformación digital de las Fuerzas Militares de Colombia

La política CTel 2024 y el PETEF han impulsado avances significativos en la digitalización de las Fuerzas Militares, con lo cual han sentado las bases para la transferencia tecnológica y la madurez digital. Estos avances se centran en la gestión de datos como eje central de la modernización:

- *Infraestructura unificada (cloud y big data)*: las Fuerzas Militares han iniciado la migración hacia arquitecturas de *cloud computing* para asegurar la interoperabilidad de los sistemas C4ISR (mando, control, comunicaciones, computación, inteligencia, vigilancia y reconocimiento) entre el Ejército Nacional, la Armada Nacional y la Fuerza Aeroespacial de Colombia. Esta unificación busca superar la limitación de la fragmentación institucional creando una red única de datos para operaciones conjuntas, de tal manera que acelera el procesamiento de inteligencia y el tiempo de respuesta (Ministerio de Defensa Nacional, 2021).
- *Inteligencia artificial aplicada (IA)*: existe una inversión creciente en el desarrollo de capacidades de analítica avanzada y IA para la toma de decisiones. Proyectos específicos se enfocan en la minería de datos geoespaciales y el procesamiento de lenguaje natural (NLP) para optimizar las misiones de inteligencia y vigilancia, lo cual permite una identificación más rápida y precisa de amenazas en zonas complejas (Ministerio de Defensa Nacional, 2023). Estos desarrollos son generados en colaboración con CODALTEC y los grupos de investigación de las escuelas, lo cual representa la transferencia tecnológica *endógena* en acción.

- *Ciberdefensa y ciberseguridad*: la transformación digital incluye el fortalecimiento de las capacidades de ciberdefensa nacional. El Ministerio de Defensa ha priorizado la creación de equipos especializados y la adopción de modelos de seguridad *Zero Trust* para proteger las redes críticas del sector, lo que indirectamente beneficia a la infraestructura civil al elevar los estándares de seguridad tecnológica en el país (Ministerio de Defensa Nacional, 2023).

Modelo de planeación de capacidades de las Fuerzas

La consolidación de la transformación digital en las Fuerzas Militares de Colombia se materializa en un modelo estratégico de capacidades concebido como un sistema interconectado y dinámico, orientado no solo a la incorporación tecnológica, sino también al cambio cultural y organizacional necesario para la adopción estratégica de la innovación. Más que un proceso tecnológico aislado, este modelo articula elementos clave como la gobernanza, el desarrollo interno de capacidades y la integración activa del ecosistema de investigación y desarrollo. En este contexto, el Modelo de Planeación de Capacidades (MPC) constituye el andamiaje metodológico que traduce la visión estratégica de la transformación digital en acciones concretas y sostenibles. A diferencia de la planeación tradicional —centrada principalmente en la adquisición de plataformas específicas—, el MPC prioriza el desarrollo de capacidades integradas (López, 2024).

Este enfoque se basa en el ciclo de Planificación, Programación, Presupuestación y Ejecución, adaptado al sector defensa con el propósito de garantizar que las inversiones en CTel se encuentren directamente alineadas con las necesidades operacionales y estratégicas de las Fuerzas Militares.

Este modelo es fundamental para la coherencia en la toma de decisiones, de tal manera que permite al Ejército Nacional:

- *Identificar y priorizar las brechas de capacidades*: a través de un análisis exhaustivo, que identifica las deficiencias de las Fuerzas en áreas clave como inteligencia, movilidad, logística, comunicaciones o ciberdefensa.
- *Optimizar la inversión tecnológica*: el modelo asegura que los recursos financieros se asignen a los proyectos que ofrecen el mayor retorno estratégico. Al vincular los presupuestos con las capacidades prioritarias, se evita la adquisición de tecnologías aisladas que no se integran con el resto de la fuerza. Esto es particularmente relevante en un contexto de recursos limitados y alta dependencia de tecnologías extranjeras (Espitia-Cubillos, 2021).

- *Fomentar la interoperabilidad y el trabajo conjunto:* la planeación de capacidades obliga a las diferentes Fuerzas (Ejército Nacional, Armada Nacional, Fuerza Aeroespacial Colombiana) a trabajar bajo una arquitectura tecnológica unificada, como lo exige el Plan de Transformación Digital del Sector Defensa, lo cual asegura que los sistemas de comando, control, comunicaciones, computación, inteligencia, vigilancia y reconocimiento (C4ISR) sean interoperables, lo que mejora la efectividad en las operaciones conjuntas y combinadas.

La implementación del MPC se conecta directamente con los pilares del Modelo Estratégico de Transformación Digital. En primer lugar, el liderazgo innovador (pilar 3.1.1) resulta fundamental para adoptar el MPC como metodología central de planeación. En segundo lugar, el desarrollo de capacidades internas (pilar 3.1.2) se orienta a adquirir las habilidades necesarias para operar y mantener las tecnologías identificadas en el proceso de planeación. Finalmente, la articulación con el ecosistema de innovación (pilar 3.1.3) permite adquirir o desarrollar las tecnologías necesarias para cerrar las brechas de capacidad, garantizando que la transferencia tecnológica se consolide como un proceso continuo y sistemático.

Al formalizar este modelo, las Fuerzas Militares no solo modernizan su estructura institucional, sino que también garantizan que sus avances tecnológicos se conviertan en activos estratégicos que contribuyan tanto a la seguridad nacional como al bienestar de la sociedad. En este sentido, la planeación de capacidades se configura como un mecanismo para materializar el impacto social de la innovación en defensa, al asegurar que las tecnologías desarrolladas estén orientadas a proteger a la población y a responder a sus necesidades más apremiantes en situaciones de crisis y desastres.

Oficinas de integración y transferencia tecnológica

Bajo la coordinación del Comando General de las Fuerzas Militares, la creación de oficinas especializadas como la Oficina de Innovación y Transferencia Tecnológica (OITT) en cada Fuerza resulta fundamental para articular la demanda operativa, gestionar el ciclo de vida de los proyectos de innovación tecnológica y establecer marcos regulatorios ágiles que faciliten la adopción de soluciones emergentes. Estas estructuras se inspiran en modelos internacionales, incluido el de la OTAN, donde el liderazgo institucional constituye un factor clave para el éxito de los procesos de innovación y transferencia tecnológica (NATO, 2023).

En el contexto nacional, la Fuerza Aeroespacial Colombiana ha institucionalizado su gobernanza tecnológica a través de la Subjefatura de Estado Mayor de Planeación Estratégica (SEMPE), instancia responsable de dirigir la planificación y ejecución de proyectos en áreas como TIC, ciberdefensa y desarrollo aeroespacial. De manera complementaria, la Armada Nacional, mediante la Dirección de Ciencia y Tecnología Naval, impulsa procesos de innovación orientados a la defensa marítima y la logística inteligente, lo cual evidencia un enfoque institucional transversal y articulado en materia de innovación tecnológica.

La importancia del desarrollo de capacidades tecnológicas internas se sustenta en la teoría de la capacidad de absorción, la cual subraya la necesidad crítica de fortalecer las capacidades organizacionales para aprovechar plenamente los procesos de transferencia tecnológica (Cohen & Levinthal, 1990). En este contexto, las Fuerzas Militares han intensificado la formación especializada en áreas STEM, con énfasis en ciberseguridad, análisis de big data, IA, robótica, sistemas aeroespaciales y tecnologías navales. Este esfuerzo se acompaña de programas de capacitación técnica y de profesionalización, algunos desarrollados en alianza con universidades civiles y extranjeras, que garantizan la formación continua y generacional de expertos altamente especializados (Ejército Nacional de Colombia, 2016).

De manera complementaria, la consolidación de laboratorios de Guerra Experimental (LabGEx) constituye un espacio clave de experimentación y co-creación. Estos laboratorios integran investigadores militares y personal operacional para validar prototipos y soluciones innovadoras en entornos simulados, lo cual contribuye a la construcción de una cultura institucional basada en la experimentación y el aprendizaje continuo.

El modelo también formaliza la lógica de la cuádruple hélice, integrando a las Fuerzas Militares, la academia, la industria y la sociedad civil con el propósito de promover la investigación aplicada y la innovación colaborativa. Un ejemplo de esta articulación es la plataforma de Inteligencia Tecnológica (SITEC), que permite priorizar proyectos según su impacto, mediante la combinación de análisis de patentes, publicaciones científicas e inteligencia operativa.

Finalmente, el modelo asegura su sostenibilidad mediante un esquema de financiamiento híbrido, que integra recursos propios de las Fuerzas, fondos de regalías, capital de riesgo especializado y acuerdos comerciales derivados del sector defensa. Esta estructura diversifica las fuentes de financiamiento y acelera la ejecución de proyectos de innovación, investigación y desarrollo, al tiempo que fortalece la sostenibilidad y la capacidad adaptativa del sistema frente a retos tecnológicos y presupuestales.

Desarrollo tecnológico, gestión de conocimiento e impacto social en Fuerzas Militares

El desarrollo tecnológico en el ámbito militar colombiano realiza una contribución sustancial y creciente al impacto social, entendido no solo como mejora de las capacidades operacionales, sino también como progreso para la ciudadanía, las comunidades y el territorio. En este contexto, la innovación de uso dual maximiza el valor social de las tecnologías desarrolladas, al habilitar soluciones civiles derivadas de tecnologías militares. Este proceso fortalece la cohesión territorial y la resiliencia nacional, lo cual evidencia diversas iniciativas impulsadas por las Fuerzas Militares para atender las necesidades de las comunidades.

En este esquema se destacan acciones como las desarrolladas por la Fuerza Aeroespacial Colombiana, que ha fortalecido sus capacidades de aviación humanitaria mediante aeronaves multifuncionales desplegadas en la respuesta a desastres naturales o crisis médicas en zonas remotas. Asimismo, sus sistemas avanzados de comunicación y análisis de datos contribuyen a la implementación de esquemas de alerta temprana para enfrentar emergencias ambientales, gracias a lo cual mejora la protección de las comunidades y de los activos críticos (FAC, 2025).

De igual manera, la Armada Nacional, a través de innovaciones en monitoreo marítimo, inteligencia naval y gestión inteligente de infraestructura portuaria, refuerza la seguridad fronteriza, combate el crimen transnacional y protege los ecosistemas marinos, de manera que genera beneficios para las poblaciones costeras y el medioambiente (Armada Nacional de Colombia, 2023).

Finalmente, el Ejército Nacional ha optimizado sus capacidades digitales para coordinar operaciones de control territorial, apoyo humanitario y proyectos de desarrollo local, con lo cual contribuye a mejorar la calidad de vida en sectores vulnerables del territorio nacional. Estas capacidades impactan también en salud pública, a través de investigaciones militares orientadas a enfermedades tropicales; en educación, mediante acceso remoto a recursos digitales; y en sectores productivos mediante soluciones innovadoras que derivan de la transferencia tecnológica.

Desafíos en la apropiación social del conocimiento de la transferencia tecnológica

El impacto social efectivo de la innovación en el ámbito militar se garantiza mediante la apropiación social del conocimiento, proceso que demanda políticas de inclusión, divulgación científica y cooperación multisectorial. Además, la

circulación libre y transparente de los resultados de investigación fortalece la confianza pública y multiplica el valor social de la inversión militar en ciencia y tecnología (ESDEG, 2025).

No obstante, se identifican retos relevantes para la consolidación de este modelo, entre ellos incrementar la inversión sostenible en investigación, superar la resistencia cultural al cambio, promover la equidad de género en la ciencia militar y desarrollar marcos normativos adecuados para la ciberdefensa, el uso de sistemas no tripulados y la inteligencia artificial, de tal manera que se garantice que estos avances tecnológicos se desarrollen bajo principios de seguridad y ética (Espitia-Cubillos, 2021). De igual manera, el fortalecimiento de alianzas internacionales y la cooperación estratégica con actores globales, como la OTAN, las escuelas de guerra y los colegios de defensa de la región, contribuye a consolidar un esquema robusto de intercambio tecnológico y de buenas prácticas que orienta la consolidación integral de las Fuerzas Militares colombianas.

Modelo de integración para la transferencia tecnológica en las fuerzas militares

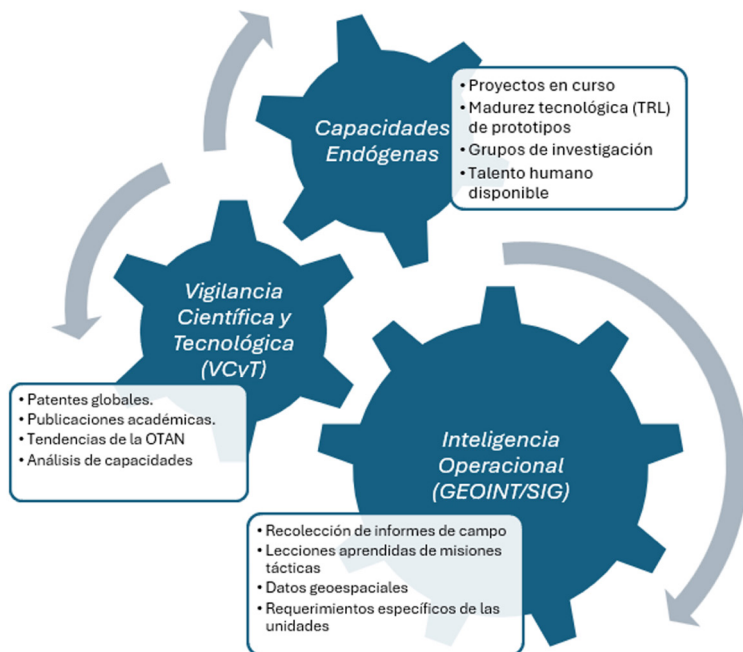
Arquitectura del modelo y sus componentes funcionales

El modelo de integración para la transferencia tecnológica en las Fuerzas Militares propuesto se fundamenta en la institucionalización de tres componentes funcionales, concebidos como habilitadores clave para una transferencia tecnológica acelerada y pertinente. Estos componentes están diseñados para corregir las deficiencias históricas del ecosistema colombiano de innovación en defensa (Ministerio de Defensa Nacional, 2023).

En este contexto, el modelo plantea la creación de un sistema de inteligencia tecnológica que funcione como articulador de la demanda institucional. Para ello se propone el Sistema de Inteligencia Tecnológica (SITEC), concebido como una plataforma digital impulsada por IA y big data, cuya misión es superar la fragmentación institucional identificada en el ecosistema de innovación militar (Centro de Estudios Estratégicos del Ejército Nacional de Colombia, 2022).

Este sistema operaría como un repositorio unificado de necesidades tecnológicas, capaz de integrar información proveniente de tres fuentes primarias, con el fin de asegurar que los procesos de investigación se orienten a problemas reales, sean aplicables y se prioricen estratégicamente, como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Componentes del modelo propuesto



Fuente: Elaboración propia.

- *Inteligencia operacional (GEOINT/SIG)*, que incluye la recolección de informes de campo, lecciones aprendidas de misiones tácticas, datos geoespaciales y requerimientos específicos de las unidades de combate (Ejército Nacional, Armada Nacional, Fuerza Aeroespacial Colombiana). Estos datos se correlacionan con los objetivos del Modelo de Planeación de Capacidades (MPC).
- *Vigilancia científica y tecnológica (VSyT)*, para establecer un esquema de monitoreo continuo de patentes globales, publicaciones académicas, tendencias de la OTAN y análisis de capacidades de enemigos y aliados, lo cual nutre al sistema con conocimiento explícito externo.
- *Capacidades endógenas*, como un sistema de información que contiene un inventario detallado de los proyectos en curso, la madurez tecnológica (TRL) de los prototipos, los grupos de investigación y el talento humano disponible en las escuelas de formación y en CODALTEC.

El SITEC procesa esta información y emite un Índice de Prioridad de CTeI (IPC-D), una métrica dinámica que pondera la urgencia operacional con la

viabilidad técnica y el potencial de uso dual. Esto permite a la Oficina de Innovación y Transferencia Tecnológica (OITT) asignar recursos con precisión, superando el problema de que solo el 15 % de los proyectos se alineen con necesidades inmediatas y maximizando el Retorno de la Inversión en Innovación Militar (RIIM) (RAND Corporation, 2022).

Laboratorios de Guerra Experimental (LabGEx)

Esta estrategia se propone como un puente de la evolución de TRL y un cultivador de acciones en apropiación social y divulgación de la ciencia. En este sentido, los LabGEx son la respuesta directa a la dificultad entre la migración del TRL4 a sus niveles superiores, actuando como el principal puente para escalar el TRL de los prototipos generados en la academia. Estos laboratorios son ecosistemas de co-creación y validación acelerada que llevan los productos de la validación en ambientes controlados o laboratorio a la demostración en entorno operativo simulado o real controlado. Entre sus principales aportes se encuentran:

- *Función de inmersión ASC y divulgación de la ciencia:* el LabGEx institucionaliza el concepto de interoperabilidad cognitiva (Real Instituto Elcano, 20123). Ofrece espacios donde ingenieros, científicos e investigadores vinculados a las escuelas de formación e instituciones de educación superior y el personal tanto de apoyo como de mando de las Fuerzas Militares trabajan juntos en un ambiente ágil. Esta interacción continua permite la transferencia de conocimiento tácito y reduce la resistencia cultural al convertir al usuario final en un codiseñador, de modo que se fomenta la ASC de manera orgánica (González Sabater, 2011).
- *Validación y prototipado ágil:* se hace uso de marcos de trabajos basados en agilidad para el desarrollo de ciclos de prueba cortos que permiten evaluar la usabilidad, robustez y eficacia de la tecnología en simulaciones de escenarios complejos que incluyen componentes de guerra híbrida y contención de amenazas transnacionales, además de consolidar un marco regulatorio simplificado para gestionar la propiedad intelectual y la responsabilidad en entornos de prueba.

Esquemas de financiamiento híbrido

La sostenibilidad estratégica del modelo requiere consolidar procesos institucionales que permitan revertir la baja inversión histórica en I+D+i en el sector defensa. Para ello, se propone formalizar mecanismos presupuestales que amplíen el acceso a fuentes de financiación complementarias al presupuesto tradicional de

defensa, mediante un esquema de diversificación financiera. Este enfoque permite garantizar la sostenibilidad del sistema de innovación militar y fortalecer su capacidad para absorber tecnologías experimentales, desarrollos de vanguardia, equipos e insumos necesarios para los procesos de investigación y transferencia tecnológica, tanto hacia el sector defensa como hacia la sociedad. En este marco, se plantea la definición de protocolos institucionales para acceder a diferentes fuentes de financiación, entre las cuales se destacan:

- *Fondos del Sistema General de Regalías (SGR)*: Proyectos de CTel en defensa que demuestren impactos indirectos en el desarrollo regional —por ejemplo, iniciativas relacionadas con monitoreo de deforestación, sensores para seguridad fronteriza o logística para ayuda humanitaria— pueden articularse con los Planes de Desarrollo Regional, facilitando el acceso a recursos provenientes del SGR.
- *Offsets estratégicos y desarrollo local*: siguiendo la recomendación del CONPES 3582 (DNP, 2009), los acuerdos de compensación derivados de compras militares de alto valor pueden convertirse en inversión directa en proyectos priorizados por el SITEC, beneficiando instituciones como CODALTEC y las universidades nacionales.
- *Capital Defensatech*: se propone la creación de un fondo de capital de riesgo especializado en tecnologías de defensa y seguridad, inspirado en experiencias internacionales como el modelo israelí o el Fondo de Innovación de la OTAN. Este instrumento permitiría atraer inversión privada nacional e internacional para escalar desarrollos de uso dual, con potencial de aplicación tanto en el ámbito militar como civil, asegurando al mismo tiempo la viabilidad económica de los proyectos y el equilibrio financiero para los inversionistas.

Ciclo de transferencia acelerado

El modelo propuesto reemplaza el proceso lineal de investigación y desarrollo por un ciclo iterativo de cinco etapas que garantiza la rápida adopción, la ASC, la transferencia tecnológica y de conocimiento, así como la divulgación de la ciencia, que se consolidan como elementos sustanciales del impacto social en la dimensión tecnológica para cerrar la brecha identificada al inicio de este capítulo (figura 5).

Figura 5. Ciclo de transferencia tecnológica.



Fuente: Elaboración propia.

- *Generación de demanda táctica (input):* las unidades operacionales, a través de la metodología del MPC identifican una brecha específica y la formalizan en un requerimiento que se ingresa al SITEC. Esta etapa asegura que la *demanda* impulse la *oferta* de investigación.
- *Desarrollo rápido y elevación del TRL:* una vez priorizado por el SITEC, el proyecto es ejecutado por un consorcio que potencialmente puede estar definido por (Escuela + CODALTEC + industria) con un marco regulatorio preparado para agilizar el proceso de maduración tecnológica y transferencia. El LabGEx toma el prototipo inicial (TRL4) y, mediante ciclos de prueba intensivos con usuarios finales, lo madura hasta alcanzar un TRL7 (prototipo funcional en ambiente operativo relevante) en un plazo preestablecido.
- *Transferencia formal y legal:* la oficina definida para la transferencia tecnológica formaliza el proceso de la transferencia, asegurando la protección de la propiedad intelectual mediante los instrumentos establecidos por la superintendencia y el Ministerio de Ciencia y Tecnología (modelo de utilidad, patente, secreto empresarial entre otros). Esta etapa asegura que los desarrollos locales queden protegidos bajo el marco de la soberanía tecnológica y define los términos para la potencial producción continua por parte de CODALTEC o la industria aliada.
- *Despliegue operacional y absorción:* la tecnología desplegada en el teatro de operaciones permitirá la consolidación de los procesos de impacto social mediante la apropiación social del conocimiento y la divulgación de la ciencia mediante un esquema diferente al que comúnmente entendemos en el marco de medición de los productos de investigación. Paralelamente, se implementan los programas de capacitación especializada para el desarrollo de competencias STEM y resistencia cultural, diseñados por las

escuelas de formación, de tal manera que se garantice la capacidad de absorción de la organización para operar y mantener el nuevo sistema.

- *Monitoreo de impacto y evaluación ex post*: busca establecer un sistema de medición y mejora continua constante que mida el retorno de la inversión en innovación militar y el IS, dentro de un sistema de indicadores clave que incluyen la eficacia operacional y el potencial de uso dual. Los resultados se reingresan al SITEC para iniciar la siguiente iteración y garantizar tanto el aprendizaje organizacional como la transferencia de conocimiento.

El impacto estratégico del Modelo Integral de Transferencia Tecnológica

El modelo de integración para la transferencia tecnológica se establece como la principal vía para materializar el impacto social en su dimensión tecnológica, por cuanto genera un triple beneficio estratégico que trasciende la misión militar. En primer lugar, fomenta la soberanía tecnológica y la resiliencia nacional. Al financiar y validar tecnologías desarrolladas endógenamente, el modelo reduce la dependencia de proveedores extranjeros —que actualmente supera el 72 %— y asegura que las Fuerzas Militares puedan mantener, adaptar y utilizar sus sistemas tecnológicos sin restricciones externas. De este modo, se fortalece la autonomía operacional en escenarios de conflicto híbrido y asimétrico, al tiempo que se consolida la Base Tecnológica e Industrial de la Defensa (BTID) como eje de la resiliencia nacional.

En segundo lugar, contribuye a la superioridad táctica y al fortalecimiento de la seguridad ciudadana. Al acortar el ciclo de transferencia tecnológica, el modelo garantiza que las innovaciones desarrolladas en el sistema de investigación lleguen oportunamente al ámbito operacional, optimizando la toma de decisiones y reduciendo los tiempos de respuesta ante amenazas. Esto mejora la eficacia de las operaciones de seguridad, lo cual se traduce directamente en una mayor protección de la población civil y en la reducción de la criminalidad organizada.

Finalmente, impulsa la movilización socioeconómica mediante la innovación de uso dual. El modelo asegura que las inversiones en seguridad generen efectos de *spillover* hacia el sector civil, mientras que la validación rigurosa de tecnologías en los Laboratorios de Guerra Experimental (LabGEx) incrementa la confianza de inversionistas en prototipos con potencial para su escalamiento, fabricación y comercialización en la industria civil.

Conclusiones

Los procesos de transferencia tecnológica en las Fuerzas Militares de Colombia deben redefinirse no solo como un procedimiento administrativo, sino como la vía estratégica fundamental para materializar el impacto social. La brecha existente entre los productos de investigación y su aplicación en el campo operacional compromete directamente la capacidad de las Fuerzas para cumplir su misión de protección y seguridad.

En este contexto, la adopción de un modelo integrado de transferencia tecnológica se convierte en una herramienta clave para atender esta necesidad, pues permite que la ciencia y la tecnología endógenas se transformen en capacidades operacionales reales. De este modo, se reduce la dependencia de proveedores extranjeros, se fortalece la soberanía tecnológica y se acelera la respuesta ante amenazas. Como resultado, la innovación militar se traduce en soluciones sociales tangibles, al incrementar la seguridad, reducir los riesgos y mejorar la calidad de vida de la población en el territorio nacional. Desde esta perspectiva, el gasto en investigación se transforma en una inversión estratégica para el desarrollo nacional, fundamental para fortalecer la resiliencia del Estado frente a escenarios de conflicto híbrido y multifacético.

El análisis sistémico sugiere que el éxito del modelo depende de superar la fragmentación institucional mediante una gobernanza articulada. Esto implica la posible creación de un organismo rector con autoridad institucional, encargado de priorizar la demanda tecnológica mediante el Sistema de Inteligencia Tecnológica, alinear los proyectos con el Modelo de Planeación de Capacidades y definir una ruta para el acceso a esquemas de financiación híbrida. Estos mecanismos permitirán garantizar la sostenibilidad económica de los proyectos de investigación y asegurar que la inversión en defensa contribuya al fortalecimiento de la Base Tecnológica e Industrial nacional.

El modelo propuesto fortalece el papel de las Fuerzas Militares como actores de desarrollo socioeconómico, mediante la promoción de la innovación de uso dual, la apropiación social del conocimiento y la divulgación científica. En este contexto, la validación de prototipos en laboratorios de experimentación como los Laboratorios de Guerra Experimental (LabGEx) permite no solo asegurar la superioridad táctica, sino también elevar la madurez tecnológica de los desarrollos, facilitando su posterior licenciamiento al sector civil. De esta manera, se fortalece el vínculo entre las Fuerzas Militares y la comunidad, al tiempo que se maximiza el retorno social de la inversión pública en ciencia y tecnología.

Asimismo, la transformación digital actúa como habilitador fundamental de la dimensión tecnológica del modelo, lo que exige la construcción de una cultura institucional de experimentación, en la cual los fallos en las fases de prueba sean asumidos como oportunidades de aprendizaje. Este enfoque permite superar la inercia institucional y constituye la base de la superioridad táctica en los entornos operacionales contemporáneos.

Finalmente, la implementación de tecnologías emergentes debe estar acompañada por un marco ético riguroso, respaldado por un Comité de Ética Tecnológica de Defensa que integre a representantes de la sociedad civil y expertos en Derecho Internacional Humanitario y Derecho Internacional de los Conflictos Armados. Este mecanismo permitiría garantizar que el desarrollo tecnológico militar se mantenga alineado con el bienestar social, el progreso democrático y la consolidación de la paz en el país.

Referencias

- Argote, L. (1999). *Organizational learning: creating, retaining and transferring knowledge*. Norwell, MA: Kluwer Academic.
- Armada Nacional de Colombia. (2023). *Informe anual de Ciencia y Tecnología Naval*.
- Arocena, R., & Sutz, J. (2020). *Sistemas de innovación para el desarrollo en América Latina*. Editorial Eudeba.
- Bhagat, R., Kedia, B., Harveston, P., & Triandis, H. (2002). Cultural variations in the cross-border transfer of organizational knowledge: an integrative framework. *The Academy of Management Review*, 27(2), 204.
- Blackler, F. (1995). Knowledge, knowledge work, and organizations: An overview and interpretation. *Organization Studies*, 16(6), 1021–1046.
- Centro de estudios estrategicos del EJC. (2022). *Análisis de Limitaciones Críticas en I+D+i del Ejército Nacional*. Bogotá, Colombia.
- CODALTEC. (2023). *Informe de gestión 2023: Innovación y desarrollo de tecnología para la defensa*. Corporación de Alta Tecnología para la Defensa.
- Cohen, W. M. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152.
- DNP. (2009). *CONPES 3582: Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Sector Defensa*. Departamento Nacional de Planeación.
- Dombrowski, P., & Gropman, A. (2022). *The future of military innovation*. Georgetown University Press.
- Ejército Nacional de Colombia. (2016). *Plan Estratégico de Transformación Ejército del Futuro (PETEF)*. Ministerio de Defensa Nacional, Comando General de Fuerzas Militares.
- ESDEG. (2025). *Visibilidad e impacto de la investigación evidenciado en la apropiación social del conocimiento*. Recuperado de <https://esdegue.edu.co/es/visibilidad-e-impacto-de-la-investigacion-evidenciado-en-la-apropiacion-social-del-conocimiento>.
- Espitia, D., Salazar, S., & Velas, &. (2021). Innovación para la defensa: Un modelo de articulación para el Ejército de Chile. *Revista Iberoamericana de Tecnología y Estrategia*, 16(2), 45–60.
- Espitia-Cubillos, A. (2021). Percepciones sobre innovaciones tecnológicas en el Ejército Nacional de Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 85–108.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123.
- Ezponda, J. (2008). Transferencia de conocimiento entre comunidades científicas. *Arbor*, 184(731), 539–548. doi:<https://doi.org/10.3989/arbor.2008.i731.203>
- FAC. (2025). *Fuerza Aeroespacial Colombiana. Plan de Acción 2025*. Recuperado de <https://www.fac.mil.co>.

- Fuerza areoespacial colombiana. (2023). *Plan Estratégico de Transformación y Futuro Tecnológico*. Bogotá, Colombia.
- García P., R. (2022). *La planeación de capacidades en defensa: Un enfoque para la innovación y la transformación militar*. Bogotá, Colombia: Editorial ESDEG.
- García R., J. (2021). El rol de la tecnología militar en la seguridad ciudadana. *Editorial UNAP*
- Giroux, H. (1997). .La pedagogía de frontera y la política del postmodernismo. *Revista Intringulis*(6), 96.
- González Sabater, J. (2011). *Manual de transferencia tecnológica y conocimiento*. The Transfer Institute, Instituto de transferencia de tecnología y conocimiento.
- López P, N. A. (2024). La innovación de las capacidades militares ante los desafíos del siglo XXI. *Editorial ESDEG*.
- Margalef, L., & Arenas, A. (2006). ¿Qué entendemos por innovación Educativa? A proposito del desarrollo curricular. *Perspectiva Educativa*, 1(47), 13-31.
- MINDEFENSA. (2023). *PETIC - Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones del Sector Defensa*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Defensa Nacional.
- Ministerio de ciencia y tecnología. (2022). *Guía para la transferencia de tecnología* . Bogotá: Ministerio de ciencia, tecnología e innovación.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2021). *Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (PETIC)*. Bogotá: Ejército Nacional de Colombia. Ejército Nacional de Colombia. .
- Ministerio de Defensa Nacional. (2023). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Defensa 2023-2026*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Defensa Nacional.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2023). *Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones del Sector Defensa*. Bogotá, Colombia.
- Montero M, A. (2020). *El Ejército Nacional: 200 años de transformaciones y retos*. Bogotá: Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", 2020.
- Montero M., G. (2020). La transferencia tecnológica en el Ejército Nacional de Colombia: Un desafío para la modernización. *Revista Científica General José María Córdova* 18(29), 89-105.
- NATO. (2023). Institutional innovation and technological leadership in defence.
- North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge University Press.
- OECD . (2017). *Innovation and the Defense Industry*. OECD Publishing, Paris.
- RAND Corporation. (2022). *Assessing the ROI of Military Innovation*.
- Real Instituto Elcano. (20123). *Modelos de transferencia tecnológica en el sector de defensa en Latinoamérica*. Madrid, España.
- Restrepo R, D. (2024). Mejora de la eficiencia y seguridad en las Fuerzas Militares colombianas mediante robótica y automatización. *Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"*, 38.

- Roselli, N. (2011). Teoría del aprendizaje colaborativo y la teoría de la representación social: convergencias y posibles articulaciones. *Revista colombiana de Ciencias Sociales*, 2(2), 173-191.
- Schmidt, J. P. (2020). The dual-use dilemma in military innovation. *Journal of Strategic Studies*, 43(4), 512-535.
- Sira, S. (2015). Modelo operativo de transferencia tecnológica para promover la interacción universitaria con los sectores externos. *Saber: Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación Científica de la UDO*, 27(3), 454-469.
- Slavin, R. (2002). *Aprendizaje cooperativo: Teoría, investigación y práctica*. AIQUE.
- Startup Nation Central. (2023). Innovation Report 2023. *Israel's Cybersecurity Ecosystem*.
- Tamayo Herrera, A. &. (2014). La gestión tecnológica en el sector defensa: Un enfoque desde la Universidad Militar Nueva Granada. *Revista de la Escuela Superior de Guerra*, 7-23.
- Zanitti, M. (2018). *Definiendo la estrategia para la transferencia de conocimiento y tecnología en universidades*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad Santiago de Cali.